

En busca de la razón del mundo: Leonardo, matemáticas y visualidad

J. Rafael Martínez E.

Puesto que cualquier observación intelectual tiene su origen en la sensación, como lo atestigua Aristóteles... y porque, entre los sentidos, el de la vista es el más espiritual, puro y perfecto... parece ser que nuestro intelecto es incapaz de entender o recordar cualquier cosa si no la ha percibido mediante la visión...

FRANCESCO DI GIORGIO MARTINI,
Trattato di architettura civile e militare (c. 1470)

Resumen: Como pintor, Leonardo aprendió a mirar el mundo en *perspectiva* y esto significó usar no sólo la geometría y la teoría de las proporciones, sino también analizar la naturaleza de la luz y el proceso de la visión. Con un enfoque globalizador en que la analogía y las matemáticas permitían transitar entre el funcionamiento de máquinas, organismos vivos y las razones de los fenómenos naturales, Leonardo hizo de la geometría y de la visión sus herramientas principales para explicar el mundo.

Palabras clave: Leonardo, perspectiva, geometría, visualización, óptica, luz, proporción, analogía, Alberti, Piero della Francesca.

Searching for the reason of the world: Leonardo, maths and visibility

Abstract: As a painter, Leonardo learnt to see the world in *perspective* and by this he meant not only the usage of geometry and proportion theory but also to analyze the nature of light and the process of vision. As a result he developed an encompassing approach by which analogy and mathematics provided the bridges to connect the working principles of machines, living organisms and the causal links of natural phenomena. In order to accomplish this, he made of geometry and his theory of vision his main tools.

Fecha de recepción: 19 de mayo de 2009.

Keywords: Leonardo, perspective, geometry, visualization, optics, light, proportion, analogy, Alberti, Piero della Francesca.

INTRODUCCIÓN

Entre la elección de Heráclito de preferir las cosas que son aprendidas mediante la vista y la afirmación de Leonardo de que el ojo es la principal vía para que el intelecto pueda considerar las infinitas obras de la Naturaleza median casi 20 siglos. Durante ese lapso la humanidad no logró establecer una ciencia cuyos fundamentos fueran más allá de la sapiencia griega, la aristotélica o la platónica. En particular, las matemáticas no habían pasado de ser un elemento que, como en los casos de la astronomía o la óptica, y con la notable excepción de la ley de la balanza de Arquímedes, servía sólo de apoyo para realizar cálculos o establecer descripciones cualitativas, sin que ello llevara al establecimiento de leyes de la Naturaleza al estilo de las presentadas, entre los siglos XVI y XVII, por Kepler, Galileo y Descartes, protagonistas de la gran revolución del pensamiento que alcanzaría su apoteosis en la gran síntesis de Isaac Newton.

Como lo ha establecido la historia una y otra vez, ningún cambio en la concepción de la Naturaleza y del método para conocerla surge de improviso, y tampoco se debe a la presencia aislada de un genio o de una reducida comunidad innovadora. En la gestación, florecimiento y maduración de lo que serían los logros de la hasta no hace mucho llamada “revolución científica”, varias fueron las vertientes que convergieron en esa época de esplendor que, bautizada como el Renacimiento, sentaron las bases del cambio de actitud acerca de cómo conocer, interpretar y dominar la Naturaleza.

Una de las vertientes más vigorosas y espectaculares proviene de las relaciones que se generaron entre la ciencia y las artes en el siglo XV, para las cuales Leonardo resulta ser una figura emblemática. El antecedente inmediato de la fusión de las técnicas pictóricas con la geometría, que daría lugar a la llamada perspectiva lineal, fue la generación de la representación naturalista de seres, objetos y escenarios, cuyo propósito era hacer registros del mundo externo, recogiendo sus detalles y peculiaridades de tal modo que lo representado imitara fielmente el modelo o la Naturaleza. Lograr estos efectos requería, sin lugar a dudas, la ayuda de las matemáticas y de una teoría de la representación que, apoyándose en las estrategias geométricas sentadas por Euclides y Ptolomeo en sus textos sobre óptica, llevaron a un nuevo estado a las ciencias descriptivas.

Tal propósito se alcanzó gracias a las estrategias de representación desarrolladas por artistas de la talla de los hermanos Lorenzetti y Masaccio, de arquitectos como Brunelleschi y Leon Battista Alberti, este último autor del primer tratado teórico sobre pintura (1537). En este texto se exhiben las bases ópticas y geométricas para trazar un piso o techo pavimentado en perspectiva, es decir, para representar en una superficie bidimensional los hechos del mundo físico, de la solidez.

Con su libro, Alberti pretendía elevar la pintura al rango de una disciplina liberal mediante el sometimiento de ésta al imperio de las matemáticas, mostrando objetos y elementos espaciales con las proporciones adecuadas y las guías visuales más eficientes para lograr la ilusión de tridimensionalidad, hazaña jamás lograda durante la Edad Media. Sin embargo, su enfoque era el de un humanista, comprometido, por tanto, con una tradición clásica basada en el estudio de la historia, la literatura y la filosofía de los antiguos griegos y romanos, y en contraste con los contenidos de la educación escolástica para la cual el saber, además de no incluir gran parte del pensamiento grecolatino, provenía básicamente de los libros y no de la observación de la Naturaleza.

Frente a las concepciones de Alberti, las estrategias de Leonardo parecían menos eruditas, menos propias de un hombre guiado por su intelecto. A partir de sus palabras –algunas muy escuetas y sin contexto que las enmarcara– y de las imágenes que, además de adornar, ilustran, se concluye que no percibía la ciencia como una categoría aparte de las que conformaban el *syllabus* de los saberes de su época y al cual había que añadir muchas de las prácticas comprendidas bajo el rubro de artísticas. Para nosotros, el arte consiste en un esfuerzo por dotar de un orden expresivo a las formas, a los valores y a los sentimientos, mientras que la ciencia es tenida como una investigación sistemática y explicación de las causas y efectos de los procesos que ocurren en la Naturaleza. Para Leonardo, ambas actividades, el arte y la ciencia, eran simples aspectos de un afán al que denominaba precisamente ciencia y al que caracterizaba como una búsqueda de principios o leyes basadas o demostradas a partir de la experiencia y expresables en el lenguaje matemático. Como lo dice en sus notas, el lenguaje de la pintura es la geometría, el del equilibrio de los cuerpos es la aritmética, que se expresa en el uso de la teoría de las proporciones.

A pesar de la admiración que despierta su nombre en nuestros tiempos, en su época no alcanzó el reconocimiento general de sus contemporáneos. A causa de sus dotes como artista y sus conocimientos del arte de la guerra, la arquitectura, la pintura, el teatro, la música, la mecánica y la tecnología, por mencionar algunos de los campos en los que incursionó, algunos filósofos naturales –los

“científicos” de su época– lo despreciaban, pues consideraban que sólo lograba mostrar experimentos sobre los que daba explicaciones un tanto particulares, sin ubicarlos en el contexto de una teoría general o de la comúnmente aceptada física aristotélica. Para colmo, tampoco entre los humanistas gozaba de gran aceptación, ya que no dominaba el latín, requisito básico para quienes hacían de Cicerón o de Séneca los modelos de la expresión escrita. A ello se sumaba que, tanto para los humanistas como para los escolásticos, el conocimiento sobre el mundo se reducía a lo ya establecido por los hombres de genio del pasado, entre ellos Aristóteles, Galeno, Euclides, Graciano, Boecio y Ptolomeo. Cualquier elemento novedoso que, a partir de la experiencia, no concordara con el contenido de los textos clásicos o religiosos debía ser considerado como erróneo. Si, por ejemplo, había una discrepancia entre lo establecido por Galeno en sus escritos anatómicos y lo que mostraba un cirujano durante la disección de un cuerpo, los ahí presentes, tanto el maestro de anatomía como los estudiantes, optarían por darle la razón a Galeno, negando la validez de la evidencia que se ofrecía ante su mirada. Al otorgar la primacía a la evidencia empírica sobre la autoridad de la palabra escrita, Leonardo se convirtió en un innovador de las prácticas naturalistas y artísticas.

Si bien no publicó nada en su tiempo (y hay que recordar que la prensa de Gutenberg nace casi a la par de Leonardo, por lo que hacía décadas que había revolucionado la gestión de la cultura escrita), Leonardo nos dejó los productos de sus observaciones y elucubraciones en miles de folios que nos han llegado, acomodados según el buen entender de quienes en su momento los tuvieron en sus manos y que se encuentran desperdigados en museos, institutos, bibliotecas y colecciones particulares. A pesar de ello, el trabajo sistemático de quienes se han interesado por la obra de Leonardo ha permitido que hoy día sea posible tener acceso a la información contenida en dichos documentos. Como se verá a lo largo de la presentación que sigue a esta introducción, en lo que se refiere a las matemáticas, Leonardo sólo utilizó aritmética y geometría, dejando sin tocar un terreno que parecía prometedor y que su cercanía con Luca Pacioli debería haberle permitido conocer. Este terreno en el que no incursionó se convertiría en una de las herramientas torales que transformarían la arquitectura del edificio matemático: el álgebra.

Fueron tantos los dominios sobre los que posó su mente y sus manos que difícilmente podría haberse ocupado del álgebra, y menos aún si tenemos en cuenta que, al parecer, nunca recibió una educación matemática de manera sistemática. Pero si concentramos nuestra atención en sus contribuciones en otras

ramas del conocimiento en las que recurrió a los artificios de las matemáticas, podemos percibir la excelencia de sus logros. La pintura, además de ser el primer elemento que justifica su fama ante nuestros ojos, le permitió conocer, ampliar e innovar las técnicas geométricas de representación de las formas y el espacio. Esto lo llevó a concebir la regla piramidal, según la cual, todas las “potencias” naturales se difunden en el espacio siguiendo una ley piramidal, calificada así porque su efecto disminuye conforme se aleja de su origen según una proporción continua que obedece a la manera como se extiende o aumenta la superficie de la base de una pirámide conforme se aleja del vértice, manteniendo la dirección de los “rayos” que constituyen el límite de la pirámide. Este resultado lo utilizó para explicar cuestiones relacionadas con la balanza, aceleraciones producidas durante la caída de los cuerpos, transmisión de la luz y cambios en los tamaños aparentes de los objetos con la distancia.

Fue así como Leonardo, a pesar de no haber logrado elaborar una teoría general que formalizara una nueva explicación del mundo, se convirtió, sin duda, en la figura más relevante en ese movimiento cultural que hizo del ojo la primera instancia en la integración de una manera de enfocar el estudio de la Naturaleza: registrar en sus detalles más minuciosos la evidencia visual que ofrece un fenómeno, hacerlo de manera que seduzca al observador, de una manera coherente y eficiente, convocando para ello a las artes plásticas y a las geométricas para, a partir de ellas, intentar establecer la necesidad de la descripción matemática de lo observado. Este nuevo enfoque, al que se sumaron muchas otras figuras cuyos nombres forman parte de la historia, generó las condiciones de las que nacerían las nuevas ciencias de la Naturaleza; nuevas no tanto por sus objetos de estudio, sino por los métodos para estudiarlos. Éste es el contexto donde se generaron las ideas sobre visualidad y modelación matemática que hicieron de Leonardo uno de los profetas de las ciencias que en menos de dos siglos transformarían nuestra visión del mundo.

LEONARDO Y LA VÍA DEL ARTE Y LAS MATEMÁTICAS

“Que no me lea quien no sea matemático”, escribe Leonardo al lado de una imagen anatómica que forma parte de los tesoros artísticos depositados en el palacio de Windsor (Windsor, 19118 v), situado en la vecindad de Londres. Petición extraña si tenemos en cuenta que la emite alguien que no hizo de la matemática su empresa más cultivada. Y, sin embargo, nos remite a una vieja historia que se

remonta por lo menos a los tiempos de Platón, en cuya Academia se dice que había una inscripción que, al tenor de “no entre aquí quien no sepa geometría”, advertía a los aspirantes a ingresar en ella de la necesidad de poseer conocimientos matemáticos –o de estar familiarizados con las formas del pensamiento matemático– si se quería avanzar en las disciplinas que componían el saber filosófico.

Esta visión de la importancia de las matemáticas en la configuración del conocimiento de la Naturaleza y de las disciplinas creadas por el humano se puede discernir a lo largo del Renacimiento, abarcando tanto los campos del humanismo como las llamadas disciplinas prácticas. No es casual que, en el frontispicio de *La nueva ciencia*, en el texto con el que Niccolò Tartaglia pretende inaugurar la nueva ciencia de la balística, se muestre la figura de Euclides cuidando la entrada a la arena donde aparecen reunidas las damas que representan las ciencias y las artes liberales –todo aquello que caía bajo el dominio del *trivium* y del *cuadrivium*–, el conjunto de disciplinas consideradas dignas de estudio para los integrantes de las clases privilegiadas de la sociedad renacentista. Quien no conociera los *Elementos* de Euclides –después de la Biblia, el texto más estudiado a la largo de la historia– no sería capaz de aprovechar adecuadamente lo que las otras disciplinas podían ofrecer al intelecto humano. Por ello, Euclides es el guardián, el que abre las puertas a quienes aspiran a socializar con las damas que simbolizaban los cuerpos de conocimiento más sofisticados de la época.

En *La escuela de Atenas* (1510-1511) –obra de Rafael Sanzio ubicada en la *Stanza della Segnatura* en el Vaticano–, las diferentes disciplinas matemáticas aparecen en los planos ilusorios más cercanos al espectador, representadas por los personajes más emblemáticos vinculados con ellas: Pitágoras, Ptolomeo y Euclides aparecen trazando figuras geométricas en la pizarra, sosteniendo la tierra o exhibiendo el cosmos. Más atrás, hacia donde las líneas ortogonales al plano pictórico parecen conducir nuestra mirada, están Platón y Aristóteles. Y si Bramante, Miguel Ángel, Pietro Bembo y el mismo Rafael, entre otros, encontraron acomodo entre los participantes en el desfile de personalidades, Leonardo es el elegido para ser mostrado como Platón. Tal vez esta elección no haya sido mero capricho. El neoplatonismo había encontrado nuevo aliento con Ficino y los nuevos seguidores de idearios místico-matemáticos que, impresionados por sus tintes pitagóricos, reclamaban para las matemáticas el sitio de honor entre los nuevos saberes que intentaban irrupir en el *corpus* de las artes liberales.

Leonardo, como muchos lo han sostenido, no era considerado un matemático a la manera de contemporáneos como Regiomontano, Pacioli o su compañero de oficio, Piero della Francesca, quien, a sus dotes como pintor, añadía un cono-

cimiento profundo de la geometría euclidiana, el uso del ábaco y las propiedades de los cinco cuerpos regulares. Éstos son los poliedros regulares –sólidos cuyas caras son iguales entre sí– y que, a lo largo de la historia, han levantado una gran pasión entre los platonistas debido a las elucubraciones a las que daban lugar, entre ellas, la que posiblemente sería la más impresionante por sus consecuencias filosóficas, ya que parecía mostrar algo que podría ser más que una coincidencia y que reflejaría una correspondencia entre la necesidad matemática y la estructura del cosmos: sólo podía haber cinco sólidos regulares y sólo existían cinco planetas.¹ Según esto, el orden cósmico que se reflejaba en la geometría no era producto de la casualidad, sino del acto creativo de un Demiurgo que dotaba al hombre con la razón y los elementos para alcanzar una idea de la realidad, a su escala, que sólo admitía ser conocida a través del intelecto.

En este terreno hay que ubicar a Leonardo, que con toda certeza admiraba el poder de las matemáticas y, movido posiblemente por el halo de misterio que el platonismo de nuevo cuño le confería, colocaba el conocimiento y práctica de las matemáticas en la cúspide de la pirámide conformada por todas las ciencias. “No hay certeza –nos dice en el *Manuscrito G 96v* del Instituto de Francia– donde no participan las ciencias matemáticas ni aquellas que se basan en estas ciencias.” Y, sin embargo, sus contactos con las matemáticas se dirigían, casi exclusivamente, a los tópicos que podían ser mostrados a los ojos, es decir, a todo aquello que encontraba una representación en las imágenes, hoy inconfundibles, que con tanta facilidad producía. Por ello, la geometría es la que ocupa sus pensamientos y, en especial, lo que era de utilidad para la óptica y la mecánica.

Para 1498, a los 46 años, ya había escrito lo que vendrían a ser sus *Cuadernos*.² Fruto de su estancia en Milán, donde por varios años trabajó para la familia Sforza, algunos de los textos recopilados bajo este título o, restringiendo el contenido a cuestiones pictóricas –y llamado en este caso *Tratado de pintura*–, vienen a ser

¹ El principal promotor de esta idea fue Johannes Kepler en su libro *Mysterium Cosmographicum* (1596). En él, Kepler se declara seguidor de una línea de pensamiento platonizante donde la geometría marca las pautas de la estructura del Universo, los movimientos y las distancias de los astros respecto del Sol. Véase Kepler, *El secreto del mundo* [1596] (1992).

² Bajo el rubro de *Cuadernos* –o *Notebooks* en inglés–, existen varias recopilaciones de textos de Leonardo compuestos de citas, sentencias, notas, aclaraciones, memorias, etc., todas ellas diseminadas en las hojas que componen su vasto legado literario. Las ediciones más importantes de estos textos son: Jean Paul Richter (1939), *The Literary Works of Leonardo da Vinci*; Edward MacCurdy, *The Notebooks of Leonardo da Vinci* (1938); Irma A. Richter (1952), *The Notebooks of Leonardo da Vinci*. En español existe una antología titulada *Leonardo da Vinci, Cuadernos de notas* (1993), de M. E. Editores, Madrid.

parte de los esfuerzos más logrados del siglo xv por establecer la doctrina de la perspectiva y, por ende, de las bases geométricas que subyacen en la composición pictórica naturalista.³ La mayor parte de su contenido proviene del *Codice Urbinat* lat. 1270,⁴ texto depositado en la Biblioteca Vaticana.

En la corte de Ludovico Sforza, tuvo la fortuna de conocer a Luca Pacioli y colaborar con él dibujando los diagramas geométricos que ilustran *De divina proportione* (1509),⁵ uno de los textos más emblemáticos de la matemática renacentista. En este libro, Pacioli analiza la famosa “sección dorada”, tan apreciada desde la Antigüedad por pintores, arquitectos y músicos en el contexto de una teoría geométrica que subyace en las estructuras que son el objeto de cada una de estas disciplinas.

La inquieta mente de Leonardo pudo haber tomado de Pacioli el interés por los *ludi matematici*, una especie de *divertimento* muy apreciado por un sector culto de la sociedad italiana. Estos *ludi* o juegos matemáticos incluían problemas típicos surgidos de la práctica, como serían los que tenían su origen en la agrimensura –y que, por tanto, caían bajo el ámbito de la geometría–, o los de carácter aritmético que abarcaban desde el ajedrez, los cuadrados mágicos –tan

³ Las dos obras que en el siglo xv se ocupan de este problema son: *Della pittura* (1435), de Leon Battista Alberti, y *De prospectiva pingendi* (circa década de 1460), de Piero della Francesca. En la primera, Alberti pretende sentar las bases teóricas de la pintura y, para ello, recurre a la geometría como el vehículo que organiza el espacio donde tiene lugar la escena. Al mismo tiempo, aporta elementos y datos que sustentan la importancia de la pintura y la presenta como una disciplina digna de ser practicada por los sectores cultos de la sociedad. El segundo texto, el de Piero della Francesca, es más un manual de los trazos geométricos que conducen a la representación en escorzo –en *perspectiva*– de varias figuras.

⁴ Las versiones que se han publicado bajo el título *Tratado de pintura*, de Leonardo, se basan fundamentalmente en el *Codice Urbinat* lat. 1270, de la Biblioteca Apostólica Vaticana. Ha sido publicado en versión facsimilar por Carlo Pedretti (1995), en dos volúmenes, como *Leonardo da Vinci, Libro di Pintura*. Otras ediciones –que varían en el orden y en los pasajes incluidos– que recogen los párrafos relacionados con el arte de la pintura y, en particular, con el tratamiento de la perspectiva lineal o de los pintores y que aparecen citados con frecuencia son: Carlo Pedretti (1964), *Leonardo da Vinci On Painting. A lost Book (Libro A)*; A. Philip McMahon (trad. y notas), introducción de L. H. Heydenreich (1956), *Treatise on Painting [Codex Urbinas Latinus 1270]*. En español existen varias recopilaciones bajo el título de *Tratado de pintura*. Una de las más cuidadas y extensas es la de Ángel González García (1982), publicada por Editora Nacional (Madrid).

⁵ Fra Luca Pacioli, *Divina proportione. Opera a tutti gl'ingegni perspicaci e curiosi necessaria One cia scun studioso di Philosophia: Prospectiua Pitura Sculptura: Architectura: Musica: e altre Mathematiche: sua uissima:sottile: e admirabile doctrina consequira: e de lectarassi co varie questione de secretissima scienta*, Venecia, 1509. En español, se cuenta con la publicada por Akal (1991), Madrid, con una introducción de A. M. González y traducción de Juan Calatrava.

sugerentes para el imaginario renacentista que hasta Durero incluyó uno en el ahora popular grabado llamado *Melancolía II*-, o la *Rithmomachia* o “Batalla de los números”,⁶ un juego que combinaba los placeres de lidiar con el azar y el estudio de las matemáticas y la educación moral.

En su edad madura, Leonardo se propuso escribir un *De ludo geométrico*, supuestamente terminado en Roma en 1514, en el que incluyó juegos basados en el desplazamiento y recomposición a la manera de rompecabezas de figuras planas. Esta manera de proceder ilustra una de las características primordiales de las rutas hacia el conocimiento por las que transitó Leonardo: la justificación o demostración de una aseveración o de un hecho por la vía de lo visual. Gracias a ello, podía establecer resultados partiendo y acomodando figuras sin importarle los valores o las relaciones de magnitud entre los lados, con lo que ciertos valores que en su tiempo era imposible manejar aritméticamente, como la diagonal de un triángulo rectángulo, podían ser sujetos de operaciones geométricas. Así, una manera de concebir una ruta hacia el aprendizaje pasaba por igualar representación y conocimiento: si un problema admitía una “traducción” que lo sometiera al imperio de la mirada, tal presentación equivalía para Leonardo a una justificación o demostración “científica”.

A este respecto, y por el peso científico que adquiría la justificación a través de la vista, el más maravilloso de los sentidos,⁷ el hombre de Vinci le añadía reconocimiento al carácter ornamental añadido a todo aquello que se sometía al juego geométrico, como lo puede apreciar quien contempla los poliedros preparados por Leonardo para ilustrar *De divina proportione*. Una cantidad importante de los diseños que nos heredó muestran la regla y el compás como generadores de planos y figuras, cuya razón de ser es un aparente balance de formas que, según criterios estéticos, parecen desempeñar el papel de piezas de un juego de proporciones. Tales ejercicios inducen a pensar en la existencia de patrones que se expresan en Leonardo mediante proporciones geométricas y el afán de establecer un centro en torno del cual se distribuye toda composición pictórica.

El establecimiento de balances, regidos por la teoría de las proporciones euclidianas y la teoría arquimediana de la balanza, encuentran expresión en los

⁶ Para una descripción de este juego, véase Ann E. Moyer (2001), *The Philosophers' Game: Rithmomachia in Medieval and Renaissance Europe with an Edition of Ralph Lever and William Fulke, The Most Noble, Ancient, and ... in Medieval and Early Modern Civilization*.

⁷ Al respecto, Leonardo escribió, entre otras frases del mismo tenor, que “El ojo que se dice ventana del alma es la principal vía para que el sentido común pueda, de la manera más copiosa y magnífica, considerar las infinitas obras de la Naturaleza”, *Codice Urbinate 8a y Tratado de pintura* (1982), p. 51.

dibujos preliminares de *La adoración de los magos* y en los testimonios que, bajo la forma de copias de la destruida *Batalla de Anghiari*, nos transmiten con elocuencia este papel matematizante de la obra de Leonardo.

Es evidente que el uso de las proporciones para distribuir los elementos pictóricos en un fresco o una tela no era exclusivo de Leonardo. Utilizadas desde por lo menos la Grecia clásica, sobre todo en cuestiones arquitectónicas y escultóricas, las doctrinas que las requerían desempeñaron un papel determinante en la constitución de las ideas que dominaban el quehacer artístico de la época. El mismo Pacioli lo constata al dividir las matemáticas en tres cuerpos: aritmética, geometría y la llamada “proporción”. Es en este contexto donde Leonardo ubica el edificio matemático, concibiéndolo con un perfil que fusiona el rigor lógico y la imaginación, el pensamiento abstracto con el hecho concreto, estableciendo así un puente entre los dominios, hasta entonces casi siempre ajenos,⁸ de las actividades artística y científica.

Los entes matemáticos que admitían una representación visual estaban sujetos, las más de las veces, a leyes de proporción que regían sus ordenamientos. Dichas leyes –y la experiencia extraída de la fortaleza de los materiales– determinaban, en el caso de la arquitectura medieval, las dimensiones de las naves y columnas, el número de éstas, además de la disposición y forma de los contrafuertes y arbotantes que sostenían las estructuras que, apuntando hacia los cielos, alcanzaban alturas jamás logradas por las edificaciones previas a la época gótica. Además de acomodarse adoptando simetrías que pretendían reflejar los arquetipos del cosmos, las estructuras perfilaban –lo cual no era evidente para quien carecía de una cultura como la que se instauraba en la Italia renacentista– las líneas de transmisión de las causas naturales. Y esto era a lo que Leonardo aspiraba: a través del entendimiento de los modos de actuar de la Naturaleza –fueran fuerzas, ímpetus, resistencias, colisiones y demás elementos identificados como provocadores del cambio y responsables de la constancia en el mundo natural– construir obras y objetos que, además de satisfacer un propósito práctico, reflejaran la belleza que les confería la *fantasia*⁹ de un artesano.

⁸ En el siglo xv debe haber habido pocas excepciones a esta observación y, entre ellas, estarían los ya mencionados en la nota 3, Leon Battista Alberti y Piero della Francesca, el primero, arquitecto y humanista, y el segundo, pintor y matemático.

⁹ *Fantasia*, en el siglo xvi, era un término retórico que se refería a la capacidad imaginativa del artista de crear cosas que, posiblemente, no existían en la Naturaleza, es decir, aquello que no había sido creado por Dios. En sus escritos previos al año 1500, Leonardo destaca el poder del artista para generar “lo che la natura mai le creò” y lo que llamaba *fantasia* o *imaginatione*. Véase Kemp (1971), “Il Concetto dell Anima”, p. 131.

Cuanto más contemplaba la Naturaleza y aprendía de matemáticas, más se convencía Leonardo de que el mundo estaba gobernado por una armonía cósmica que despertaba en él las inquietudes del científico y los furores del talante artístico. Y, según Leonardo, la *proporción* era algo que aparecía no sólo donde se trataba de números y de medidas, sino que también se hacía sentir donde había sonidos, tiempos, pesos, posiciones y la presencia de la potencia, es decir, de aquello que producía el cambio.¹⁰

El afán por sistematizar lo que aprendía y su vasto caudal de intereses lo hacían parecer desordenado, cuando posiblemente lo que intentaba era ser escrupuloso, diferenciando cada uno de los temas que abordaba, pero previo a ello, se entregaba a la tarea de recoger y, para nuestro deleite, dejar a la posteridad todo tipo de pensamientos, citas, ejercicios, anotaciones, dibujos tomados del natural o productos de su inventiva, imágenes de estructuras o máquinas en espera de ser construidas. De lo que no cabe duda es de que, para 1500, quienes lo visitaban percibían su desinterés por continuar pintando, pero, en cambio, eran testigos de su ensimismamiento con las matemáticas y sus aplicaciones al campo de lo real, ya fuera para entender, describir o diseñar; y de ese periodo datan sus manuscritos sobre el vuelo de las aves y acerca de la naturaleza y los movimientos del agua, hoy depositados en la *Biblioteca Reale* de Turín y en la mansión que alberga la Bill Gates Collection,¹¹ en Seattle (Estados Unidos), respectivamente. Hoy, nuestra mirada puede recorrer las hojas donde el artista, convertido en un explorador o visionario de nuevas formas de conocer el mundo, hizo de su arte un medio de comunicación o almacenamiento del conocimiento. Todo lo que investiga y es conocido a través de la vista pasa a ser representado y, al transitar por sus manos, se convierte en una obra de arte. Con ello, la pintura alcanza un estatus muy cercano al de ciencia, pues está “primero en la mente del fabulador”, pasa por la experiencia, “madre de toda certeza que penetra a través de los sentidos” y “no puede alcanzar su perfección sin la operación manual”.¹² En este sentido, *el arte*, la manera como el autor usa sus manos, que a su vez son guiadas por la mente, como lo había sostenido Leon B. Alberti en su *Tratado*

¹⁰ Véase Ms K, 49v.

¹¹ El códice que contiene estos estudios sobre el comportamiento del agua en diversas circunstancias fue conocido por un tiempo como el *Códice Leicester*, por pertenecer a lord Leicester, quien lo guardaba en su castillo de Norfolk, Inglaterra. En 1980 pasó a manos de Armand Hammer y, como suele suceder, fue rebautizado como *Codice Hammer*. Finalmente, Bill Gates lo adquirió en 1994.

¹² *Códice Urbinate*, 1270, 19a, 19b, y Leonardo, *Tratado de la pintura* (1982), pp. 35-36.

de la pintura, es el instrumento que permite la visualización y comunicación del hecho científico en todas las ramas del quehacer humano.

Y no sólo los objetos que se ofrecen a la mirada son muestras de lo maravilloso, el propio ente o fenómeno natural, la luz, con el que el creador concedía a la humanidad la capacidad de percibir objetos distantes, es elevado por Leonardo a una categoría especial. Considerada por Grosetteste como la primera forma corpórea de la creación, la luz, que participa de lo divino y lo corpóreo, merece ser estudiada pues, según Leonardo, “proporciona un enorme placer a quien la contempla”. Como, por su naturaleza, la luz forma parte de la óptica, quedaba catalogada, entonces, entre los entes que admitían un análisis en términos matemáticos, conceptualización que añadía un atractivo más al estudio de la luz, pues “entre las características notables de las ciencias matemáticas, la certeza de sus demostraciones es lo que actúa con mayor vigor para elevar la mente de quienes de ellas se ocupan”.¹³ Con ello, Leonardo se sentiría no sólo el artífice de una manera novedosa de entender la Naturaleza, sino también miembro del selecto grupo que, por su educación humanista,¹⁴ se había ganado un sitio en las cortes más ilustradas de la Italia de fines del *Quattrocento*.

Se entiende entonces que, para Leonardo, la óptica deberá ser la preferida entre todas las disciplinas y sistemas de conocimiento que son la provincia de los eruditos, porque en los dominios de la óptica, el complejo haz de luz muestra las etapas de su desarrollo y es ahí donde se expresa la gloria no sólo de las ciencias matemáticas, sino también de las físicas, adornada por las flores de ambas.¹⁵

Para que no quepa duda de que Leonardo planeaba escribir un tratado de óptica, en el *Códice Atlántico* ofrece reducir a unas cuantas el inmenso número de afirmaciones sobre cuestiones ópticas que la tradición había transmitido al Renacimiento, “con brevedad, y recurriendo a ilustraciones tomadas de lo que ofrece la Naturaleza o de las ciencias matemáticas, según sea la esencia del sujeto, deduciendo en ocasiones los resultados como consecuencia de las causas y, en otras, la causa a partir de los resultados”.¹⁶

¹³ *Códice Atlántico*, 203a, y Leonardo, *Tratado de la pintura* (1982), pp. 95-96.

¹⁴ La educación humanista es la que, en los inicios del Renacimiento en Italia, ponía el énfasis en el aprendizaje del latín clásico y en la lectura de los autores más distinguidos de la Antigüedad romana. Poco más tarde, también se llamó humanista a quien dominaba las llamadas artes liberales y estaba al corriente de las novedades latinas y griegas que irrumpían en el firmamento renacentista. Leonardo siempre se lamentó de no haber recibido este tipo de educación durante su juventud.

¹⁵ *Códice Atlántico*, 203ra.

¹⁶ *Códice Atlántico*, 203r.

Pero como tantos otros proyectos de Leonardo, éste tampoco llegó a término y todo lo que poseemos son fragmentos de lo que fueron sus ideas al respecto. Sus comentarios –muchos de ellos un tanto crípticos– y esbozos de experiencias nos hablan de los fundamentos de su doctrina cognitiva, de manera similar a como su teoría de la visión, la cual se recoge en los textos recopilados como su “tratado de la pintura”, es la que da sostén a su teoría del arte. De estos comentarios se desprende que serían las matemáticas las que desempeñarían el papel de instrumento de la óptica física, pues tanto la modelación geométrica de lo que recoge la mirada como la percepción de los *aspectos*¹⁷ vendrían a ser la fuente de sus ideas acerca de la pintura.

Las preguntas que Leonardo se planteaba surgían de su afán por reproducir, en un primer momento, lo que la Naturaleza ofrecía a su mirada. Su meta era alcanzar la *mimesis*, el antiguo sueño griego de imitar a la Naturaleza.¹⁸ Es posible que Leonardo buscara ir más allá de este proyecto e intentara, mediante el perfeccionamiento de la imagen, alcanzar un tipo de “ideal” del objeto representado. Pero su curiosidad no quedaba satisfecha con sólo copiar imágenes, también aspiraba a representar el curso de los fenómenos, y lo lograría generando representaciones –a la manera de las matemáticas– de las maneras de actuar o expresar sus movimientos la Naturaleza. Recurriría para ello a rectas, ángulos, curvas y elementos, que mostraban la universalidad de las leyes que gobernaban el mundo de lo inanimado.

Con gran sistematicidad, aprovechó la idea de que la luz se propaga como si se extendiera mediante rayos, que se pueden visualizar como rectas, que se desplazan en todas direcciones desde un objeto luminoso. Según esto, desde cada punto nacen rayos que, al desplazarse radialmente, surcan el espacio en todas direcciones. Algunos se reflejan en superficies pulidas o se refractan en su avance conforme lidian con la heterogeneidad de los medios que acogen su paso. Y como no todo objeto visible se percibe como luz, también hace falta tener en cuenta

¹⁷ Según la teoría de la visión de Alhazen, que durante varios siglos dominó la cultura medieval, el *aspectus* era una de las dos categorías de la percepción visual y se refería a la primera mirada, que proporciona sólo una percepción superficial de un objeto. La otra categoría, la *intuitio*, aludía a la percepción que ha sido corroborada por el intelecto. Véase Vescovini (1965), *Studi sulla Prospettiva Medievale*, p. 122.

¹⁸ En el Renacimiento, en los círculos humanistas, el ideal de la *mimesis* se refería a la imitación de la Naturaleza –en particular a la manera como se percibe visualmente– y también a lo relacionado con la Antigüedad. Asimismo, el término se ligaba con la *inventio* o capacidad de descubrir algo. Véase Kemp (1977), “From ‘Mimesis’ to ‘Fantasia’”, pp. 347-349. Véase también Mansfield (2007), *Too Beautiful to Picture*, pp. xiv y xv.

las variaciones de iluminación, así como la ausencia de luz, a la cual llegó a concebir como el producto de la acción de una “luz negra”, lo que comúnmente se conocía como sombra. Sus comentarios, diagramas y notas acerca de la presencia de sombras y sus significados en cuanto a ser el efecto de la interposición de objetos al paso de los rayos luminosos forman parte importante de sus apuntes para la pintura.¹⁹

Un elemento central de lo que podríamos calificar como su “método de generación de conocimiento” es el acercamiento al fenómeno, la interferencia en su proceso o desarrollo y la construcción de instrumentos o estructuras que le permitieran interactuar de manera organizada con la Naturaleza. De esta práctica y de la importancia que le adjudicó, surgió la sentencia o aforismo de que “la experiencia es la madre de toda certeza...”²⁰ Siguiendo este precepto, realizó todo tipo de observaciones acerca del comportamiento de haces de luz y las sombras producidas por objetos opacos que encontraban a su paso; ideó maneras de medir la intensidad luminica y trabajó con lo que podría ser la primera cámara oscura de la que se tenga noticia. Los resultados obtenidos no lo llevaron a inferir que la parte posterior del ojo, donde está la retina, funcionaba como una pantalla, lo cual le hubiera valido ser el descubridor del papel que representa el cristalino y el tejido donde se lleva a cabo la percepción de la imagen. Sin embargo, sí infirió que había una inversión de la imagen al pasar los rayos luminosos a través del ojo, ya que éste funcionaba como una *camera oscura*.²¹

Su capacidad de observación y de relacionar fenómenos con conocimientos empíricos o teóricos lo llevó a pensar que las manchas de colores en el aceite, el fenómeno de iridiscencia en los cristales o la coloración del plumaje de algunas aves eran manifestaciones del fenómeno de refracción. Sorprende más aún la agudeza de intuición que mostró al explicar el brillo difuso con el que se perciben las estrellas como el efecto de lo que hoy se conoce como la difracción circular de la luz, planteando con ello un principio de interferencia para los rayos visuales y justificando, además, por qué un objeto luminoso puede parecer más grande a la distancia de lo que realmente es. Llevado esto a un plano más cercano a nuestros receptores visuales, Leonardo afirma que

¹⁹ Lo referente a las clasificaciones de las sombras según su origen o sus efectos aparece en la sección “Seis libros sobre la luz y la sombra” del *Tratado de pintura* de Leonardo (1982), pp. 159-217.

²⁰ Véase Leonardo (1982), *Tratado de la pintura*, p. 35.

²¹ Lindberg (1976), *Theories of Vision*, p. 164.

...los objetos mirados a la distancia lucen fuera de proporción. Esto se debe a que la porción iluminada proyecta su imagen sobre el ojo mediante rayos más intensos que los que provienen de zonas más oscuras. En una ocasión, observé a una mujer vestida de negro que portaba sobre la cabeza una tela blanca. Su cabeza parecía dos tantos más grande que sus hombros, los cuales estaban cubiertos por la vestimenta negra.²²

Y si esto era el resultado de una observación casual, a ella se añade otra con el propósito explícito de indagar acerca de cómo recogen e interpretan nuestros sentidos la acción lumínica:

Si el ojo observa la llama de una vela colocada a una distancia de cuatrocientas brazas, esta llama parecerá aumentada cien veces su magnitud real; pero si se coloca un pedazo de madera frente a ella, éste ocultará la llama que al principio parecía de dos brazos de anchura. Por consiguiente, el error es provocado por el ojo.²³

Leonardo abrazó la doctrina de que la luz se difunde como una onda esférica a partir de su origen como centro de expansión; y esto también lo presenta como una experiencia que sustenta en un argumento de carácter analógico:

Al igual que una piedra arrojada al agua se convierte en el centro desde donde se producen varios círculos, el sonido producido en el aire se desplaza en círculos y llena las partes que lo rodean con un número infinito de imágenes de sí mismo, y todo aparece en todas y cada una de las partes.²⁴

Es así como, bajo su mirada atenta, los fenómenos parecían revelarle algunas de sus intimidades, identificando detalles o estructuras que aun hoy, con todos los instrumentos que se encuentran a nuestra disposición, parecen difíciles de percibir. El estado de los sistemas de conocimiento de su época le impedían incorporar de manera sistemática y estructurada todo lo que veía como manifestaciones de una Naturaleza que suponía responder a leyes generales que, aun sin saber cuáles eran ni de qué tipo serían, deberían funcionar mediante meca-

²² Citado por Heidenreich (1954), *Leonardo da Vinci*, vol. I, p. 114.

²³ Leonardo, Ms. C, 6r, p. 14, de la edición del *Manuscrito C*, en el Instituto de Francia, preparada por la Ente Raccolta Vinciana (2001).

²⁴ Leonardo, Ms A, 9b., también en *Tratado de la pintura* (1982), p. 128.

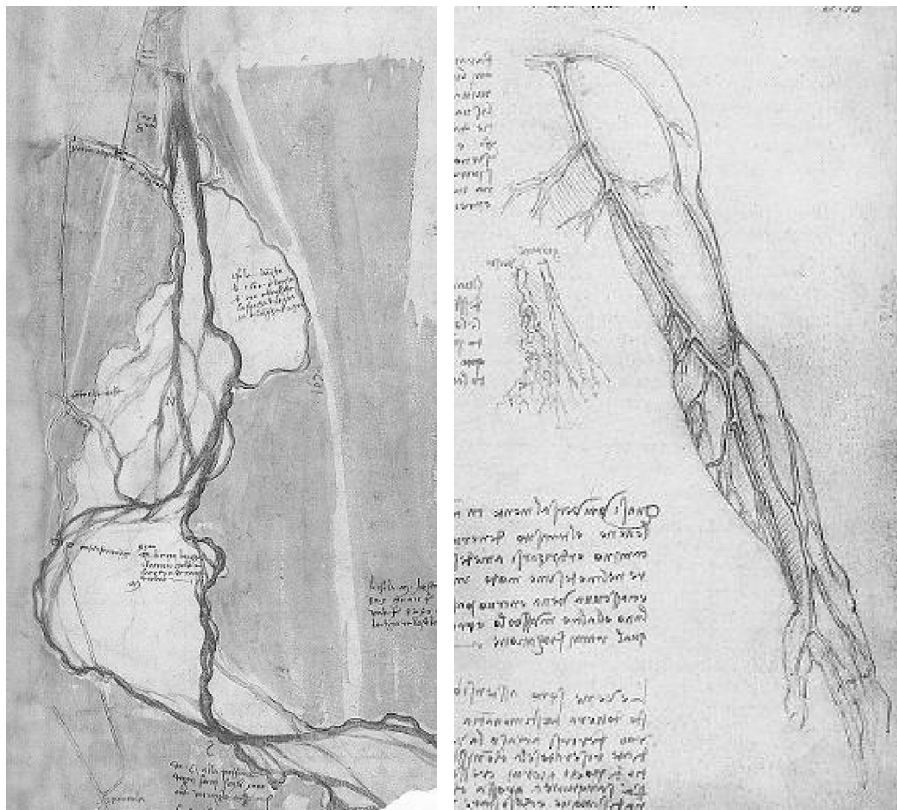
nismos ocultos a los ojos, pero que la mente podría revelar si tan sólo lograba acumular y ordenar las evidencias que la propia Naturaleza proporcionaba. Y no estaba errado al ubicar mecanismos que, de manera análoga, actuaban ocultos bajo los muchos velos que la madre Naturaleza extendía entre ella y nuestra racionalidad.

Durante la Edad Media, y aun después de Leonardo, recurrir a analogías como elementos explicativos era algo común entre los filósofos naturales. Para Leonardo y los que lo precedieron, las analogías subyacentes en los fenómenos expresaban la existencia de mecanismos similares que guiaban o provocaban la aparición de un rango muy amplio de efectos naturales. Las analogías no eran consideradas como el hallazgo pintoresco o casual de elementos aparentemente comunes a diversos fenómenos naturales. Todo lo contrario, las analogías encontradas en los modos de actuar de la Naturaleza expresaban la profunda unidad que moldeaba el orden natural. Identificar paralelismos era una empresa a la que se entregaba el filósofo natural o cualquiera que buscaba entender los porqués y los cómo de los fenómenos; era un camino para entender el universo, para aprehender el diseño que el creador había impuesto a su obra.

A la analogía como estrategia para ampliar el conocimiento, Leonardo contribuyó fortaleciendo el nivel de convicción que podría aportar lo visual. Así, al trazar los mapas de los valles vecinos a Milán, las “venas de agua” mostraban, bajo la pluma de Leonardo, un carácter que las equiparaba a los conductos de un elemento vital, a la manera de “el árbol de vasos [capilares]”, que en su tiempo era imaginado como el medio de transporte de los “espíritus” animales o vitales para los sitios más recónditos del cuerpo humano (figuras 1a y 1b). En este caso, la analogía no respondía tanto a lo visual como a lo fisiológico, descansando en un principio o ley dinámica enunciada por Leonardo y que tal vez, por ello, debería llevar su nombre. Sin embargo, y añadiendo una entrada más al catálogo de injusticias, no ocurrió así.

En los casos anteriores, es decir, en la ramificación de las vías y los canales arteriales o de los tallos de las plantas, si el volumen de fluido que atraviesa un canal principal para llegar a su destino debe hacerlo cruzando los múltiples ramales en los que se divide el canal original, según Leonardo, el total de la suma de las secciones transversales en cada nivel o etapa de la ramificación debe ser la misma, y ésta, obviamente, debe coincidir con el área del canal principal del que se derivan los demás. En el caso de un árbol, el Ms. M 78v del Instituto de Francia nos muestra la manera de medir y constatar la validez de este enunciado (figura 2). El área total de todas las secciones transversales de los ramales

Figura 1a El río Arno, al oeste de Florencia **Figura 1b** Venas del brazo izquierdo



Ambas imágenes forman parte de la Colección del Castillo de Windsor.

en cada nivel, definidos como los arcos sucesivos de un arco centrado en algún punto del tronco principal, debe ser igual a la sección del árbol que atraviesa el centro horizontalmente. Esta ley era un caso particular, medible, de una ley de continuidad más general que Leonardo suponía válida en la Naturaleza: el volumen de un flujo en un tubo durante un cierto tiempo es proporcional a la sección transversal del tubo.

Las ideas que Leonardo sostenía acerca de la Tierra y el hombre se prestaban a establecer varias analogías y, de ellas, la más totalizante sería la que afirmaba que la Tierra, al igual que el hombre, estaba dotada de vida. En el *Códice Leicester* –también citado como *Hammer*– se desliza la noción de que

Figura 2 Análisis del crecimiento de árboles en el Ms. M, 78v.
Se muestran las zonas o niveles de igual en la sección transversal



...la Tierra tiene una alma vegetativa y su carne es de lo que están hechos los suelos; sus huesos están constituidos por el sistema de uniones de las rocas que componen las montañas; su cartilago es la tofa y su sangre, las aguas que corren por sus cauces; el lago de sangre que llena el corazón es el mar oceánico; su respiración es el aumento y decremento de la sangre debido a

las pulsaciones y que, en el caso de la Tierra, corresponde al flujo y reflujo del mar; el calor del alma del mundo es el fuego que corre a través de la Tierra, y la morada del alma vegetativa queda sumergida en el fuego que, en lugares diversos de la Tierra, surge de los baños y minas sulfurosas, y en los volcanes...²⁵

Con todo, Leonardo percibió las limitantes de sus analogías y, en el caso del agua que recorre el cuerpo de la Tierra y de la sangre que hace lo propio en el sistema vascular humano, reconoció que el mar, como depósito del agua sobre la Tierra, no era equiparable a la masa de sangre almacenada en el corazón: la analogía no se sostiene en cuanto que los orígenes de la sangre son distintos de los del mar, pues éste recibe sus aguas de todos los ríos que, a su vez, las reciben del vapor acuoso que se eleva por los aires, mientras que el mar de sangre que llena el corazón es la única fuente de sangre en el sistema circulatorio.

Aun así, el poder de la analogía anterior era tan efectivo que había trasvasado los ámbitos culturales que, desde Platón, pasando por Séneca y sus *Quaestiones naturalia*, la habían acogido como ejemplo de la manera como parecía funcionar el llamado microcosmos, obedeciendo principios básicos y generales instaurados por el Creador del mundo. A ellos debían sujetarse, atendiendo a las características que tenían en común, los seres y objetos que poblaban el universo material. De manera más general, Leonardo resumió su visión sobre este punto declarando que:

El hombre ha sido llamado por los antiguos un mundo en pequeño, y es un hecho que el término ha sido utilizado correctamente en vista de que, si el hombre está compuesto de tierra, agua, aire y fuego, este cuerpo de la Tierra se compone de lo mismo. Y así como el hombre posee huesos como apoyo y marco para su carne, así el mundo cuenta con las piedras que constituyen el sostén de la Tierra. Y al igual que el hombre, posee en su interior un depósito de sangre que crece o decrece según respira el mundo...²⁶

Lo que interesa destacar en esta cita es que el hombre queda reducido a los cuatro elementos que Empédocles reclamó como los constituyentes básicos del mundo, y, por consiguiente, está sujeto a las condicionantes impuestas por las

²⁵ Leonardo, *Codex Leicester*, fol. 34r.

²⁶ Leonardo, *Ms A*, 55v.

“cualidades naturales” aristotélicas –húmedo, seco, frío y caliente– sobre sus formas, combinaciones y movimientos. En textos, como la *Física* –la *Physis*, que en griego es el vocablo que engloba lo que tiene que ver con la Naturaleza y sus fenómenos–, *De caelo*, *De anima* y *Parva naturalia*, es donde Aristóteles asentó sus doctrinas acerca del mundo natural –incluido el hombre y la mente que le confiere la cualidad que lo hace diferente de las demás especies– y las relaciones causales que determinaban el curso de los acontecimientos en los cielos y en la Tierra. Y si bien la idea del micro y del macrocosmos tiene profundas raíces en el *Timeo* platónico, es la dinámica aristotélica la que asume Leonardo como rectora de los modos del ser y del actuar de la Naturaleza. En este contexto es donde uno puede percibir que las comparaciones que Leonardo nos ofrece están formuladas en términos renacentistas, si por ello entendemos un modelo discursivo que reconoce la tendencia de los elementos a moverse en busca de su lugar natural –tierra y agua hacia el centro de la Tierra; aire y fuego en dirección opuesta a la anterior–, así como concebir los contactos y colisiones entre objetos como las causas del devenir de la Naturaleza.

Apartándose de creencias ampliamente aceptadas –aunque “formalmente” rechazadas por el credo religioso– en su época, Leonardo no concede a las estrellas ningún tipo de influencia astrológica sobre los avatares terrenales. Por el contrario, una y otra vez recurre a analogías como “la tierra es la máquina del mundo”,²⁷ o el agua es el “humor vital de la máquina terrestre”, y la manera misma de presentar el funcionamiento del sistema muscular y óseo del cuerpo humano hace patente su visión del cuerpo como máquina. Esto no quita, sin embargo, que para otros efectos –como se ha mencionado– considerara a la Tierra como un ente vivo, es decir, dotado de algún espíritu vital que aporta la fuente de movilidad o de cambio en general, agregando –o modificando– a la *Physis* griega un factor externo como agente de cambio.

Que Leonardo haya sido el primero en mostrar y analizar sistemáticamente las estructuras del cuerpo humano, entendidas también como artificios mecánicos, de los cuales nos legó múltiples estudios técnicos, muestra su manejo del saber mecánico, tanto teórico como aplicado. Su talento en estas áreas era excepcional y, si bien no recae en su persona ser el inventor de todos los artefactos o diseños que aparecen en sus cuadernos de trabajo, y pese a que no existan más que contadas fuentes literarias sobre las disciplinas técnicas de la Edad Media, las evidencias son claras respecto de la existencia en dicha

²⁷ Leonardo, *Códice Atlántico*, 252r b.

época de niveles elevados en el desarrollo de las ingenierías hidráulica, militar y mecánica.²⁸

De cualquier modo, entre los historiadores del periodo, la importancia de Leonardo como mecánico no descansa exclusivamente en los innumerables diseños que lo hicieron merecedor de su fama como inventor, ingeniero y diseñador de instrumentos para la gente ilustrada. El reconocimiento entre los sectores académicos más eruditos le viene de su novedoso enfoque de la máquina como un “organismo” mecánico, enfoque que se configura a partir de un nuevo método “experimental” que consistía en el estudio sistemático de un fenómeno hasta llegar a la identificación del principio operativo que lo explicaba. Este método pasaba, gracias a sus dotes como artista plástico, por una percepción prodigiosa, seguida de una representación precisa e iluminadora, tal y como lo dejó plasmado en sus ilustraciones sobre el diluvio y sobre el impacto de una caída de agua en un estanque (figuras 3 y 4).

Figura 3 “Muestra los grados con los que cae la lluvia a distancias diferentes y con tonos de oscuridad variados”. Imágenes del diluvio en la Colección del castillo de Windsor



²⁸ Entre estos tratados estarían el *Bellisfortis* (c. 1405) de Konrad Kyeser, el *De ingeneis* (1433) y el *De machinis* (1449), ambos de Mariano di Iacopo (Taccola) y el *De re militari* (1472) de Roberto Valturio.

Figura 4 Estudio de corrientes que enfrentan obstáculos y caída de agua sobre un estanque. Colección del castillo de Windsor



Los dibujos de Leonardo incluyen todo tipo de poleas, ruedas dentadas (figura 5), así como diagramas que ilustran los principios de fricción, transmisión y resistencia (figura 6), o los que exhiben los resultados de su especulación sobre principios teóricos, como la composición de fuerzas y la acción-reacción de fuerzas, principios que, por ejemplo, encontraban un foco de aplicación en lo que Leonardo consideraba una especie de ala gigante y que hoy se conoce como su “helicóptero” (figura 7). Todos ellos, en conjunto, apuntan a que Leonardo tenía en mente la eventual elaboración de un compendio o tratado de mecánica. Basta con revisar el *Códice Foster II* y el *Códice Madrid*, colecciones de notas y grabados donde se ilustran los esfuerzos de Leonardo para explicar la construcción y funcionamiento de máquinas a partir de primeros principios. A partir de sus análisis, es posible deducir que Leonardo reducía las máquinas a veintiún modelos básicos que conformaban cualquier otro mecanismo.

Figura 5 Engranajes acoplados: uno circular y otro del tipo de gusano.
Códice Madrid I, folio 17v

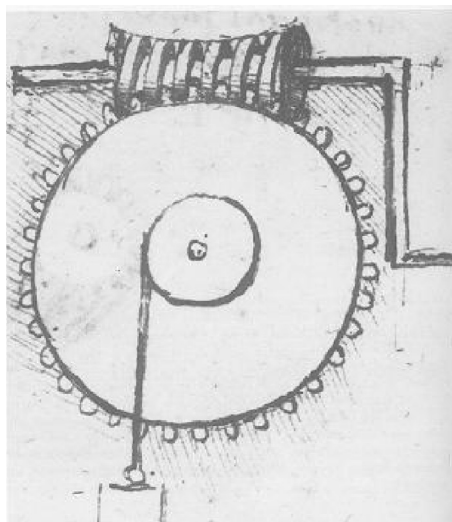


Figura 6 Cojinete axial para reducir la fricción del “árbol” vertical.
Códice Madrid I, folio 101v

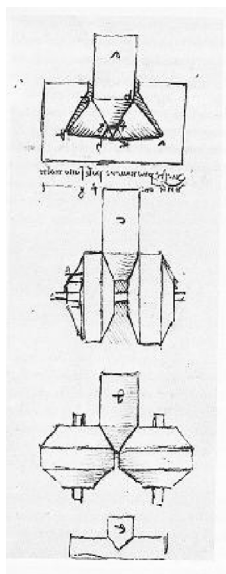
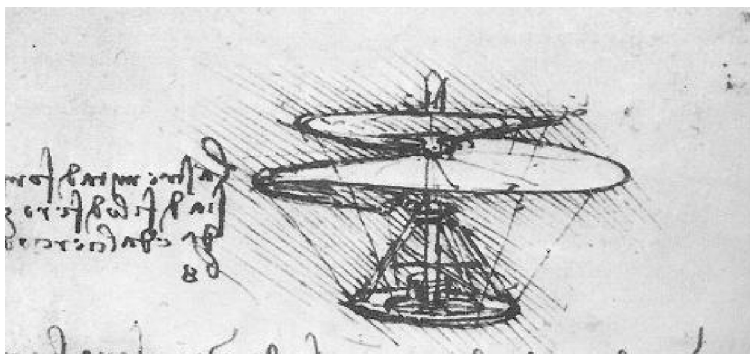


Figura 7 Antecesor de helicóptero. Ms. B, folio 83v



En ocasiones, sus dibujos apuntaban hacia la puesta en práctica de principios elaborados en los dominios de la hidrodinámica, los cuales encontraban expresión en sus diagramas o diseños de cascos de navios, bombas de vacío, cañones, balas de cañón, compuertas y también, extendiéndose a otros terrenos, fortificaciones, palacios y escenografías, todo lo cual refleja en conjunto sus inquietudes por abarcar y entender el funcionamiento de las fuerzas mecánicas.

Pero si bien lo anterior parece remitir a un Leonardo interesado en cuestiones marcadamente prácticas, el fin último de estas incursiones era establecer una mecánica con bases teóricas que le otorgara la dignidad que poseían las disciplinas liberales llamadas “intermedias”. Esto se desprende de la idea renacentista de que las disciplinas que comprendían el *cuadrivium* –aritmética, geometría, música y astronomía– y las llamadas artes “intermedias”, como la óptica, poseían un valor agregado sobre otras disciplinas, como la medicina, al incluir en sus fundamentos algunos elementos matemáticos. En particular, para el hombre de Vinci, la mecánica “es el paraíso de las ciencias matemáticas, ya que, a través de ella, uno percibe los frutos de las matemáticas”.²⁹ Entendida como la teoría de las fuerzas que producen los cambios en la Naturaleza, la mecánica, tal y como la concebía Leonardo, buscaba develar las leyes que regían los lazos entre causas y efectos y que lo llevarían a dilucidar las formas de actuar de los mundos orgánico e inorgánico.

Las notas dispersas en las diversas colecciones de sus escritos nos hacen suponer la existencia de un proyecto de escritura de un libro de gran enver-

²⁹ Leonardo, Ms E, 8v.

gadura que se ocuparía de la mecánica y al cual se refirió como el *Libro del peso*. Este texto estaría situado a caballo entre las dos grandes tradiciones mecánicas, una enfocada a lo cualitativo y ligada con la filosofía natural predicada por el escolasticismo tardío –y, por tanto, con tintes claramente aristotélicos– y otra tradición, donde lo cuantitativo y lo experimental eran los aspectos dominantes, teniendo como texto guía el *De ponderibus* (siglo XIII, aproximadamente) –*Acerca del peso*– de Jordanus Nemorarius. Curiosamente, Leonardo no se decanta por ninguna de estas posiciones y, con el escepticismo de quien busca el convencimiento en la razón y la evidencia, mantuvo ante ellas la imparcialidad de quien sabe que todavía hay mucho por aprender.

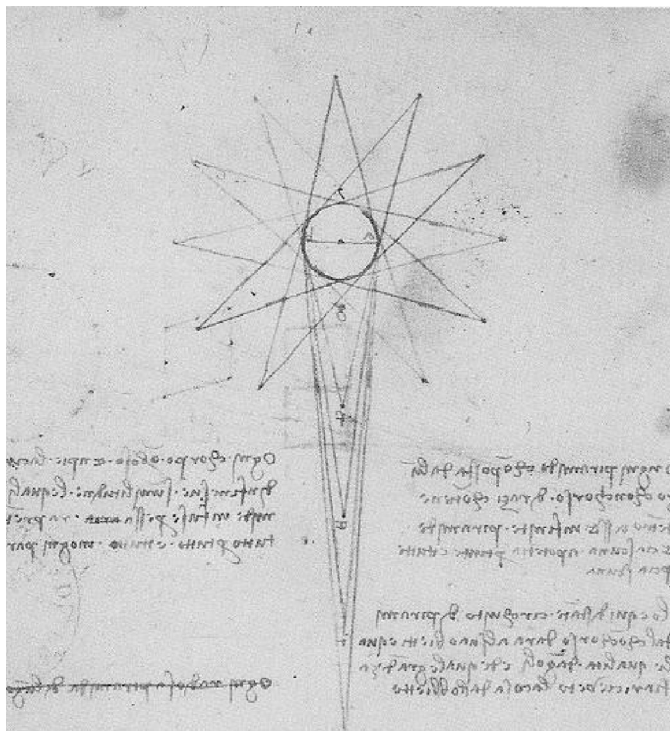
Los procesos que Leonardo analizó con el rasero de la mecánica eran filtrados por su prodigiosa capacidad perceptiva, pasaban luego por una observación comparativa que debía mucho al pensamiento analógico y, por último, eran plasmados gráficamente. Esta última etapa es lo que ha contribuido a crear su imagen de hombre de genio y visionario de una nueva ciencia sustentada en los hechos y su representación gráfica.

De Leonardo se conservan alrededor de 6 500 folios, lo que se considera una fracción inferior a la mitad de lo que produjo a lo largo de su vida y, aun así y gracias a los esfuerzos realizados en las últimas décadas del siglo XX por editar el material disponible, hemos quedado maravillados con la extraordinaria riqueza expresada en dibujos, diagramas y cálculos relacionados con poleas, balanzas y planos inclinados, instrumentos todos ellos que pueden ser construidos, pero que, además, vienen acompañados de símbolos o expresiones gráficas que, para quienes conocen el estilo de Leonardo, saben que representan velocidades virtuales, resistencias, flujos, reflexiones, esfuerzos, cruces de rayos luminosos, formaciones de imágenes, propagación de calor, olores y energía, todos ellos ejerciendo su influencia según reglas “piramidales”³⁰ (figura 8).

No obstante, para quienes estudian a fondo sus escritos y diagramas, persiste la sensación de que, en muchos casos, aparentemente no llegó a un resultado definitivo, a una conclusión lógica que estaría al alcance de su mente, aunque esto podría ser sólo muestra de nuestros prejuicios o de nuestra posición ven-

³⁰ Leonardo retoma una idea que aparece desde Ptolomeo (siglo II d. de C.) y pasa por Witelo y Pecham (siglo XIII), según la cual, el “poder” de una acción o energía disminuye con la distancia a la fuente conforme disminuye la densidad de la “energía” distribuida sobre la base que constituye el frente de expansión de una pirámide. Kim Veltman (1986) estudia de manera exhaustiva este problema en *Linear Perspective and the Visual Dimensions of Science and Art*, pp. 240-277.

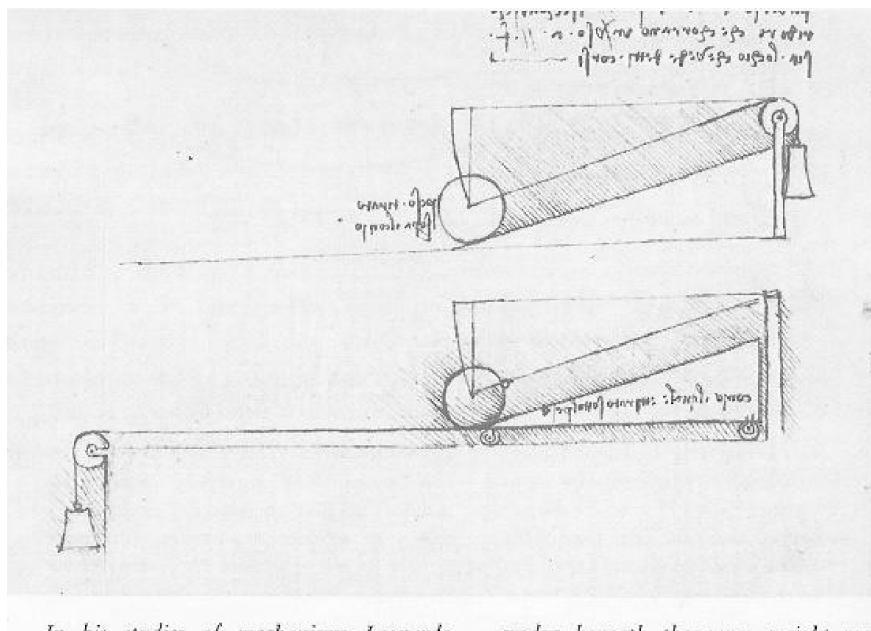
Figura 8 Ley piramidal de la difusión de la luz o de la expansión de una energía.
Ms. A, 37r



tajosa, al mirarlo desde el futuro. Parecería que una vez satisfecho de lo que infería o captaba a partir de sus anotaciones y garabatos, trazos, diagramas y notas, ya no sentía deseo alguno de desarrollar lo que, para su época, podría ya ser considerada una demostración “teórica”.

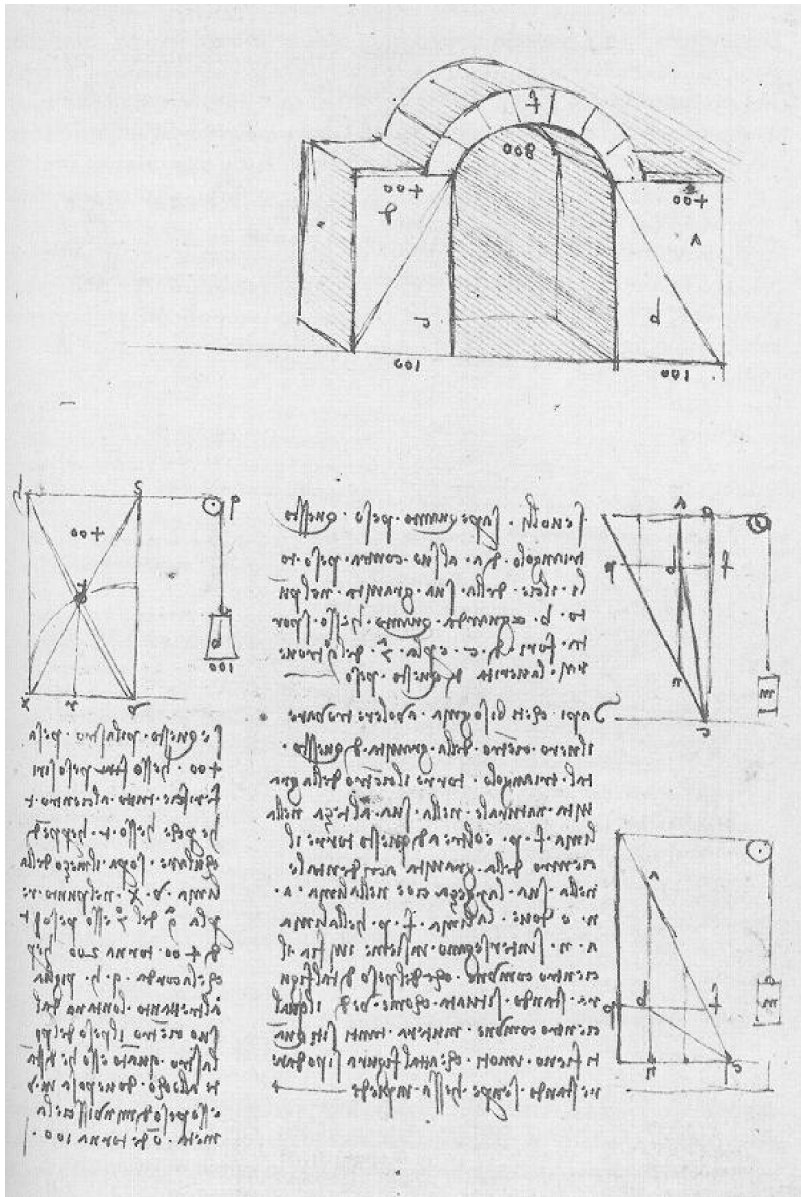
Esto no significa, sin embargo, que no haya producido aportaciones sólidas al conocimiento científico, aun cuando éstas no hayan tenido difusión en su tiempo más allá de los círculos de artistas, arquitectos, militares y cortesanos donde se desenvolvía: esbozó el principio de inercia, sabía utilizar el plano inclinado para establecer analogías con otros movimientos, usó reglas de composición de fuerzas que comprueban su dominio de la que vendría a ser llamada la “ley del paralelogramo”, manejó correctamente la idea de velocidad virtual para resolver problemas de estática (figura 9).

Figura 9 Leonardo ilustra el hecho de que jalar un peso a lo largo de un plano inclinado y empujar una cuña equivalente bajo el mismo peso requiere la misma fuerza. *Códice Madrid I*, folio 64v



Manejaba también con soltura los efectos de la fricción y la resistencia que presentaba un medio ante el movimiento de objetos. Enunció de manera correcta el principio de continuidad para el movimiento de un fluido en un canal, estableció la ley de vasos comunicantes. Y, para despejar todo tipo de dudas respecto de sus habilidades como geómetra, identificó el punto donde se localiza el centro de gravedad de una pirámide, resultado que derrotó a las mejores mentes de la Antigüedad y que sólo se demostró cuando se contó con las herramientas del cálculo integral. Sobre este último resultado, y debido a las evidencias que dejó en sus manuscritos, se dice que Leonardo llegó a él, “localizándolo” mediante un “acto de observación” que realizaba “balanceando” la pirámide en su mente y en sus diagramas. Es decir, resolvió el problema mediante un “acto de visualización”. Como podría esperarse de una mente que analiza los casos más sencillos y parte de ellos hacia los más complejos, Leonardo estudió varios casos bidimensionales y éstos ocupan muchos espacios en sus cuadernos (figura 10).

Figura 10 Diagramas para encontrar el centro de gravedad de diversas figuras. *Códice Madrid II, folio143r*



Es evidente que el estilo leonardiano para entender la Naturaleza distaba mucho de los que constituían las diferentes vertientes de la filosofía natural, así como de los estilos y métodos que iban conformando las nuevas ciencias de las que, durante las últimas décadas del siglo xx, se decía que constituían los orígenes de una revolución científica que tuvo lugar entre la publicación del libro *De las revoluciones de los orbes celestes* (1543) de Copérnico y la aparición de *Los principios matemáticos de la filosofía natural* (1687) de Isaac Newton.

En el contexto de la ciencia del movimiento –o mecánica– y de la visualización, los estudios de Leonardo sobre turbulencia merecen una mención especial. Gracias a dichos estudios, poseemos ese legado constituido por varias de las más bellas ilustraciones de fenómenos físicos que ha recogido la ciencia a lo largo de su historia. Tan impactante es eso que podríamos llamar el “estilo” de Leonardo, que cabe decir que con él inicia una nueva manera de ver y explicar el mundo, manera en la que lo visual se presenta como parte integral del discurso científico y no como mera ilustración de un texto. Si hacemos caso de los señalamientos de Reviel Netz en sus estudios sobre la ciencia de Arquímedes,³¹ bien podría establecerse un parangón entre el estilo de Leonardo y lo que ocurría durante los inicios de la matemática griega, cuando la figura o diagrama constituía un elemento de la demostración.

Como ya se ha mencionado, las aportaciones de Leonardo a la ciencia no se limitan a lo visual, pues es igualmente notable que haya sido el primero en entender la verdadera naturaleza de las olas: es movimiento, no materia, lo que se transporta al expandirse los efectos de una piedra que cae en un depósito de agua. Las reflexiones de las olas, al incidir en un obstáculo, sus distorsiones, colisiones y superposiciones, recogidas en leyes –algunas de ellas erróneas– de movimiento, quedaron figuradas en las decenas de ilustraciones de flujos y vórtices que aparecen en los códices que finalmente encontraron acomodo en las colecciones del palacio de Windsor y del Instituto de Francia. De todas ellas, la que bien podría fungir como emblema de la fusión del arte y la ciencia de Leonardo es su descripción del encuentro de las aguas, una en reposo y la otra cayendo con la fuerza de una corriente. Los encuentros de la miriada de hilos de agua dan lugar a acontecimientos violentos semejantes a los que aparecen

³¹ Netz ha llamado la atención sobre el papel protagónico de los diagramas e imágenes que acompañaban los textos matemáticos griegos y que eran reflejo de la manera como el mentor enseñaba a los alumnos, trazando diagramas que ilustraban las relaciones geométricas que buscaba establecer. Véase Netz (1999), *The Shaping of Deduction...*, capítulos 1 y 2, pp. 12-88, y Netz (2007), *El código de Arquímedes*, p. 88.

en sus trazos del diluvio, ilustrando las analogías entre ambos fenómenos, que visualmente evocan el canto de Lucrecio sobre los átomos que danzan iluminados por el rayo de luz al entrar por la ventana:

Contemplantas, pues, cuando del Sol los rayos se insinúan
de través por las puertas tenebrosas:
verás que, en el vacío, de muchos modos muchos menudos
cuerpos en la lumbre de los rayos se mezclan,
y que, como en eterna lucha, sus combates, sus pugnas
publican luchantes en bandos, y no se dan pausa
movidos sin fin en concilios y desuniones frecuentes;
así puedes conjeturar, por esto, que en el magno vacío
eternamente los principios giran.³²

Dado el estado de las ciencias y la filosofía durante el cambio de siglo, Leonardo no contaba con las herramientas técnicas ni conceptuales para que él solo pudiera levantar las estructuras que moldearían los saberes de la nueva época, lo que le otorga un relieve más pronunciado a sus logros. Así, Leonardo se sitúa como una figura de transición entre una sociedad en la que sus habitantes creían ocupar el centro del cosmos y estar a merced de fuerzas sobrenaturales y de Satán y sus aliados, y una nueva sociedad “ilustrada” que se percibía como parte de un Universo infinito, posada sobre un pequeñísimo planeta que orbita alrededor del Sol y con la confianza de que, finalmente conocedora de las leyes naturales, podría controlar su destino. Por ello, en Leonardo, las inercias del pasado y del “espíritu” de la época, por llamarlo de alguna manera, aún se deslizan entre lo que hay de innovador en sus enfoques. Sus imágenes, testigos de sus creencias, se ofrecen como portadoras de significados y alusiones a las leyes de la Naturaleza, que creía haber extraído gracias a su insistencia en la observación detallada y que van a la par de muchas de las expresiones que se extraen de su obra. La idea de fuerza, para ilustrar este vínculo entre descripción literaria y expresión artística, la presenta Leonardo de la siguiente manera:

Defino fuerza como una virtud espiritual, un poder invisible que, a través de una presión [violencia] inesperada y externa, es engendrada por el movimiento y vaciada sobre los cuerpos que, por ello, quedan impedidos o son desviados de

³² Lucrecio, *De la Naturaleza*, Libro II, pp. 114-122.

su comportamiento habitual, e impartiendo una vida activa de maravilloso poder forzando a todas las cosas creadas a cambiar de forma y posición. Los apresura hacia su deseada muerte y muta en el proceso según las circunstancias. Al volverse lenta, su poder crece y el aumento en velocidad la debilita. Nació a través de la violencia y muere con la libertad; y cuanto más grande sea, más rápido se consume. Aparta con furia cualquier obstáculo que se opone a su destrucción. Desea conquistar lo que se le opone y destruir su propia causa y, al triunfar, se aniquila a sí misma. Adquiere mayor poder cuando mayor oposición encuentra... ella misma víctima de la opresión, lo conquista todo. Nada se mueve sin una fuerza que se mueva. El cuerpo donde nace no crece ni en peso ni en forma. Ninguno de los movimientos que lleva a cabo perduran. El cuerpo bajo su poder pierde su libertad y, con frecuencia, genera una nueva fuerza por medio del movimiento.³³

Este pasaje amalgama la experiencia y la imaginación de Leonardo para intentar “mostrar” o “ilustrar” una *fuerza invisible* mediante palabras. Las propias palabras están bañadas de una especie de entusiasmo poético y se traducen tan fácilmente en términos visuales que reflejan la plasticidad de su pensamiento y la fusión de lo artístico y lo científico. A pesar de que su descripción de fuerza no corresponde a lo que uno esperaría en términos de la física que se generaría a partir de Galileo, al transformar un concepto de poder –potencia, fuerza, virtud– en imágenes concretas, Leonardo realiza lo que hacía en su trabajo como artista: transformar observaciones en símbolos, ya sea que éstos se expresaran mediante la palabra o mediante la imagen.

Así como sus composiciones pictóricas, basadas en estudios detallados de la Naturaleza, adquirirían una cualidad simbólica bajo la guía de su imaginación, sus ideas acerca de la fuerza eran el resultado de observaciones y maneras de interrogar a la Naturaleza y daban sustento a su afirmación de que la experiencia era la madre del conocimiento, el cual, en ocasiones, lograba expresar a través de los manifiestos visuales que, gracias a la industria editorial actual, podemos ver en todo tipo de publicaciones.

Es verdad que Leonardo no logró conformar una ciencia mecánica que se ajustara a los criterios que finalmente serían los esenciales para una disciplina científica. Pero estos criterios aún no existían y, en sus búsquedas, lo que cobró importancia sobre su manera de contemplar la Naturaleza fue entenderla como

³³ Leonardo, Ms A, 34v.

una pugna entre opuestos, entre reposo y movimiento, entre libertad y necesidad. Estos conflictos, según el ejemplo más conocido de quienes fueron considerados como hombres universales durante el Renacimiento, también estaban sujetos a leyes inmutables. De sus exploraciones e intentos por teorizar a partir de lo observado, nos quedan imágenes memorables, extraídas de sus experiencias y de los esfuerzos de su mente para establecer patrones que apuntaran a la presencia de regularidades geométricas o numéricas. Así, parecía asomarse al futuro. Y este afán por descubrir las leyes que explicaran el orden de la Naturaleza fue lo que, en gran medida y como consecuencia de una empresa colectiva, dio lugar a la ciencia de nuestro tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberti, Leon Battista (1996), *De la pintura*, introducción de J. V. Field, estudio preliminar y traducción de J. Rafael Martínez, México, Facultad de Ciencias, UNAM, Colección Mathema.
- Heindenreich, Ludwig (1954), *Leonardo da Vinci*, Nueva York, MacMillan, 2 vols.
- Francesca, Piero della (1984), *De prospectiva pingendi*, edición crítica a cargo de G. Nicco-Fasola, Florencia, Le Lettere.
- Da Vinci, Leonardo (1973-1975), *Il Codice Atlantico della Biblioteca Ambrosiana di Milano*, transcripción y comentarios de A. Marinoni, Florencia, Giunti, 12 vols.
- (1996), *Codex Leicester: A masterpiece of science*, Claire Farrago (ed.), con estudio introductorio de Martin Kemp *et al.*, Nueva York, American Museum of Natural History.
- (1999), *The Manuscripts of Leonardo da Vinci in the Institute of France. Manuscript A*, trad. de John Venerella, Milán, Ente Raccolta Vinciana.
- (2003), *The Manuscripts of Leonardo da Vinci in the Institute of France. Manuscript B*, trad. de John Venerella, Milán, Ente Raccolta Vinciana.
- (2001), *The Manuscripts of Leonardo da Vinci in the Institute of France. Manuscript C*, trad. de John Venerella, Milán, Ente Raccolta Vinciana.
- (2002), *The Manuscripts of Leonardo da Vinci in the Institute of France. Manuscript E*, trad. de John Venerella, Milán, Ente Raccolta Vinciana.
- (2004), *The Manuscripts of Leonardo da Vinci in the Institute of France. Manuscript K*, trad. de John Venerella, Milán, Ente Raccolta Vinciana.
- (2001), *The Manuscripts of Leonardo da Vinci in the Institute of France. Manuscript M*, trad. de John Venerella, Milán, Ente Raccolta Vinciana.

- (1956), *Treatise on Painting [Codex Urbinas Latinus 1270]*, trad. y notas de A. Philip McMahon, volumen I (1), introducción de Ludwig Heydenreich, Princeton, Princeton University Press.
- (1964), *Leonardo da Vinci on painting: A lost book (Libro A)*, readaptado del *Codex Vaticanus Urbinas 1270* y del *Codex Leicester* por Carlo Pedretti, Los Ángeles, University of California Press.
- (1974), *The Madrid Codices*, Ladislao Reti (ed.), Nueva York, McGraw-Hill.
- (1982), *Tratado de Pintura*, Ángel González García (ed.), Madrid, Editora Nacional.
- Lucrecio (1984), *De la natura de las cosas*, introducción, versión rítmica y notas de Rubén Bonifaz Nuño, México, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Kemp, Martin (1971), “Il Concetto dell’Anima in Leonardo’s Early Skull Studies”, *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes*, vol. 34, pp. 115-134.
- (1977), “From ‘Mimesis’ to ‘Fantasia’: The Quattrocento Vocabulary of Creation, Inspiration, and Genius in the Visual Arts”, *Viator (Medieval and Renaissance Studies)*, núm. 8, pp. 348-398.
- (2006), *The Marvelous Works of Nature and Man*, 2a. ed., Oxford, Oxford University Press.
- Kepler, Johannes (1992), *El secreto del mundo*, traducido del *Mysterium Cosmographicum*, traducción, introducción y notas de E. Rada García, Madrid, Alianza Editorial.
- Lindberg, David C. (1976), *Theories of Vision from Al-Kindi to Kepler*, Chicago, The University of Chicago Press.
- Mansfield, Elizabeth C. (2007), *Too Beautiful to Picture. Zeuxis, Myth, and Mimesis*, Minneapolis, The University of Minnesota Press.
- Netz, Reviel (1999), *The Shaping of Deduction in Greek Mathematics*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Netz, Reviel y William Noel (2007), *El Código de Arquímedes*, Madrid, Ediciones Temas de Hoy.
- Truesdell, Clifford (1968), “The Mechanics of Leonardo da Vinci”, en *Essays in the History of Mechanics*, Berlín, Springer-Verlag.
- Veltman, Kim H. (1986), *Linear Perspective and the Visual Dimensions of Science and Art*, Munich, Deutscher Kunstverlag.
- Vescovini, Graziella F. (1965), *Studi sulla Prospettiva Medievale*, Turín, G. Giappichelli Editore.

DATOS DEL AUTOR

J. Rafael Martínez E.

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México
enriquez@servidor.unam.mx